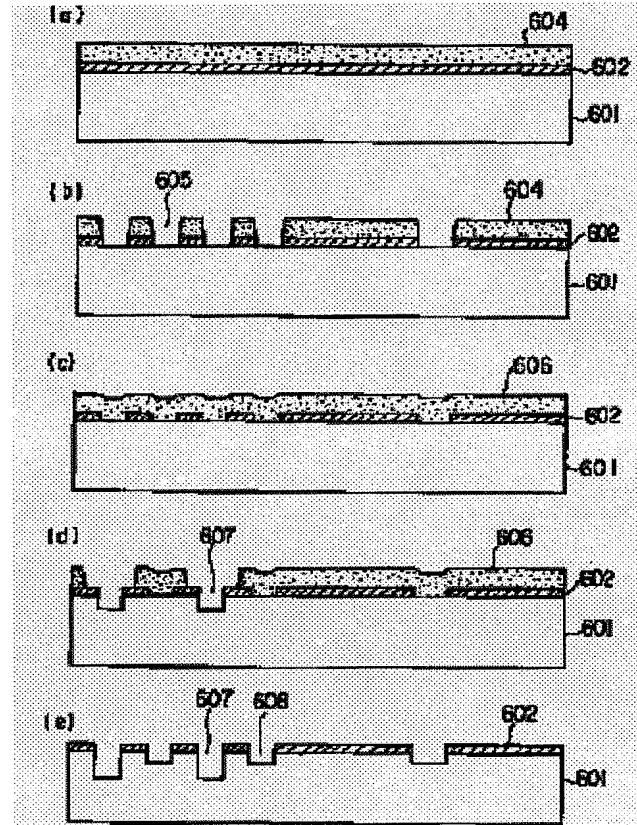


**MASK FOR EXPOSURE**

**Patent number:** JP10319569  
**Publication date:** 1998-12-04  
**Inventor:** ITO SHINICHI; KAWANO KENJI; TANAKA SATOSHI  
**Applicant:** TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO  
**Classification:**  
- **international:** G03F1/00; G03F1/00; (IPC1-7): G03F1/08; H01L21/027  
- **European:** G03F1/00G  
**Application number:** JP19970128666 19970519  
**Priority number(s):** JP19970128666 19970519

**Also published as:** US6030729 (A[Report a data error](#)**Abstract of JP10319569**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress deterioration, etc., in the depth of focus due to light passing through a light shield film and to display original performance of a Levenson type phase shift method. **SOLUTION:** In a Levenson type phase shift mask provided with a translucent substrate 601 made of quartz, a light shield film 602 made of CrO<sub>x</sub> formed on this translucent substrate 601 and having an opening pattern 605 on a part and a phase shift area 604 for respectively digging the substrate 601 by the adjacent opening pattern 605 of this light shield film 602 and imparting a phase difference of 180 deg. to the light transmitting through one side of the adjacent opening pattern 605 and the light transmitting through the other side, the light shield film 602 is formed so that the light passing through the light shield film 602 is provided with relatively the phase difference of 180 deg. for the light passing through the air having the same thickness as the light shield film 602.



---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-319569

(43)公開日 平成10年(1998)12月4日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>G 0 3 F 1/08  
H 0 1 L 21/027

識別記号

F I

G 0 3 F 1/08  
H 0 1 L 21/30

A

5 0 2 P  
5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平9-128666

(22)出願日 平成9年(1997)5月19日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 伊藤 信一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 川野 健二

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 田中 聰

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

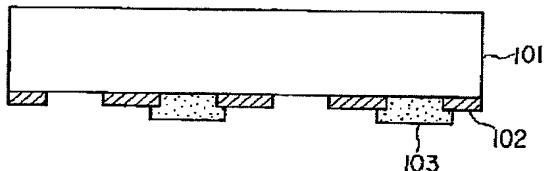
(54)【発明の名称】露光用マスク

(57)【要約】

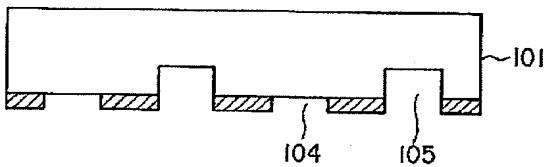
【課題】遮光膜を通過する光に起因する焦点深度の低下等を抑制することができ、レベンソン型位相シフト法の持つ本来の性能を発揮させる。

【解決手段】石英からなる透光性基板601と、この透光性基板601上に形成され一部に開口パターン605を有するCrO<sub>x</sub>からなる遮光膜602と、この遮光膜602の隣接する開口パターン605で基板601をそれぞれ掘込み、隣接する開口パターン605の一方を透過する光と他方を透過する光に対して180度の位相差を与えるための位相シフト領域とを備えたレベンソン型の位相シフトマスクにおいて、遮光膜602は、遮光膜602を通過する光が遮光膜602と同じ厚さの大気を通過する光に対して相対的に180度の位相差を有するように形成されている。

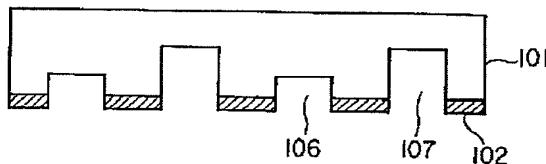
(a)



(b)



(c)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】透光性基板と、この透光性基板上に形成され一部に開口パターンを有する遮光膜と、この遮光膜の開口パターンを透過する光に対して隣接する開口パターンで概略 $(2m-1)\pi$  (mは正の整数)の位相差を与えるための位相シフト手段とを備えた露光用マスクにおいて、

前記遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に概略 $n\pi$  (nは整数)の位相差を有するように形成されてなることを特徴とする露光用マスク。

【請求項2】透光性基板と、この透光性基板上に形成され一部に開口パターンを有する遮光膜と、この遮光膜の開口パターンを透過する光に対して隣接する開口パターンで概略 $(2m-1)\pi$  (mは正の整数)の位相差を与えるための位相シフト手段とを備えた露光用マスクにおいて、

前記遮光膜の光透過率は0.1%以下であり、前記遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $n\pi-40^\circ \sim n\pi+40^\circ$  (nは整数)の位相差を有するように形成されてなることを特徴とする露光用マスク。

【請求項3】透光性基板と、この透光性基板上に形成され一部に開口パターンを有する遮光膜と、この遮光膜の開口パターンを透過する光に対して隣接する開口パターンで概略 $(2m-1)\pi$  (mは正の整数)の位相差を与えるための位相シフト手段とを備えた露光用マスクにおいて、

前記遮光膜の光透過率は0.08%以下であり、前記遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $n\pi-20^\circ \sim n\pi+20^\circ$  (nは整数)の位相差を有するように形成されてなることを特徴とする露光用マスク。

【請求項4】透光性基板と、この透光性基板上に形成され一部に開口パターンを有する遮光膜と、この遮光膜の開口パターンを透過する光に対して隣接する開口パターンで概略 $(2m-1)\pi$  (mは正の整数)の位相差を与えるための位相シフト手段とを備えた露光用マスクにおいて、

前記遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $(2n-1)\pi/2$  (nは整数)近傍の位相差を有するように形成され、

前記遮光膜の光透過率を0.007%以下に設定してなることを特徴とする露光用マスク。

【請求項5】前記位相シフト手段は、前記遮光膜の開口パターンに露出する透光性基板を、隣接する開口パターンの少なくとも一方で所定量だけ掘り込んで作成されたものであることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の露光用マスク。

【請求項6】前記遮光膜は、単層膜又は多層膜であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の露光用マスク。

【請求項7】前記遮光膜を構成する物質は、組成比及び膜厚が調整された金属若しくは半導体元素の酸化物若しくは窒素化物、又はアモルファスC及びその水素化物を組成に含む物質であることを特徴とする請求項6記載の露光用マスク。

【請求項8】透光性基板上に遮光膜を形成したマスク形成用基板であって、前記遮光膜が該遮光膜と同じ厚さの光伝導媒体を透過する光に対して相対的に概略 $n\pi$  (nは整数)の位相差を有するように構成されたことを特徴とするマスク形成用基板。

【請求項9】被加工基板上に感光性被膜を形成する工程と、前記請求項1～7のいずれかに記載の露光用マスクを用い、該露光用マスクの遮光膜を透過する光が同厚の屈折率1の媒体を透過する光に対してほぼ $n\pi$  (nは整数)の位相差を生じせしめる波長を有する露光光源により、該露光用マスクのパターンを前記感光性被膜上に結像露光する工程と、前記感光性被膜を現像処理する工程とを含むことを特徴とするパターン形成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体製造工程のリソグラフィーに用いられる露光用マスクに係わり、特に位相シフトパターンを有する露光用マスクに関する。また、この露光用マスクを作成するためのマスク形成用基板、更にはこの露光用マスクを用いたパターン形成方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体技術の進歩と共に、半導体装置ひいては半導体素子の高速化、高集積化が進められている。それに伴いパターンの微細化の必要性は益々高くなり、パターン寸法も微細化、高集積化が要求されるようになっている。

【0003】この要求を満たす目的で、露光光源に遠紫外光など短波長の光が用いられるようになってきた。その一方で、近年露光光源を変えずに微細化する試みが成されてきている。その一つの手法として位相シフト法がある。この位相シフト法は、光透過部に部分的に位相反転層（光路長を $\lambda/2$ だけ遅らせる層）を設け、隣接するパターンとの間で生じる光の回折の悪影響を除去し、パターン精度の向上をはかるものである。

【0004】位相シフト法の中で、とりわけ解像性能が向上する手法にレベンソン型位相シフト法がある。この手法では、図1(a)に示すように、透光性基板101上に開口パターン（光透過部）を有する遮光膜102を形成し、開口パターンに対し交互に位相シフタ103を設けている。位相シフタ103を透過した光の位相は、位相シフタ103を配置していない部分を透過した光に

対して180度反転する。このように隣接した光透過部の光の位相を反転させることで、パターン相互の光の負の干渉を生じさせ解像性能を向上させている。

【0005】また、レベンソン型位相シフトマスクは、図1 (b) に示すように、隣接する開口パターン104, 105の一方（例えば105）で、基板101を掘込むことでも作成可能である（特開昭62-189468公報）。しかし、この構造では104と105の開口寸法が同じであっても基板101を掘込んだ位相シフト部105と掘込まない非位相シフト部104とで光強度に差が生じるという問題がある。この問題は、位相シフト部105で光軸とほぼ平行に位置するパターンエッジ部の干渉により開口部寸法が光学的に狭められたことによる。

【0006】この問題を解決するために、図1 (c) に示すように、隣接する開口パターン106, 107のどちらも掘込むことで、両開口部でパターンエッジ部の干渉を生じさせ均一な光強度を達成する手法が提案されている（特開平7-306524号公報）。

【0007】なお、図1 (c) において、遮光膜102としてはクロム化合物が主に用いられており、このクロム化合物は露光波長のみならず可視領域以下の波長においても遮光性を示すよう組成が調整されたものが用いられている。隣接する開口パターン106, 107の一方（第1の掘込み部）と他方（第2の掘込み部）を透過する光が逆位相となるように、両開口部の掘込み量が調整されている。第1の掘込み部106と第2の掘込み部107の掘込み量の差は光路長差として露光波長入のほぼ1/2となるようにされている（位相シフタ厚）。また、浅い部分の掘込み量（バイアス量）は106と107の掘込み量の差とほぼ等しくなるように構成されている。

【0008】しかしながら、この種の露光用マスクにあっては、次のような問題があった。即ち、現存の遮光膜は遮光性を有するものの必ずしも強度透過率は0ではなく、0.01~0.1%の透過率を有する。この現象は、遮光膜の消衰係数が無限大でない限り生じることになる。

【0009】図2に、遮光膜に強度透過率が0.1%で遮光膜を透過する光の光路長が遮光膜と同じ厚さの隣接する媒体を透過する光に対して $\lambda/4$ だけ長くなる（90度の位相差を持つ）ように調整されたものを用いた場合の、レベンソンパターンの光学像から求めた焦点裕度を示す。対象パターン寸法は被加工基板上0.15 μmで、隣接する基板開口部間の位相差は180度とした。図は、横軸に露光量を対数値で表し、縦軸にデフォーカス位置を示す。パターン寸法の裕度は、所望値に対して±10%を許容とした。

【0010】ここで、曲線201は基板面を透過した光について寸法が-10%及び+10%変化する場合のデフォーカスに対する露光量を示す。同様に、曲線202は基板面を開口部とするパターンに隣接し、且つ180度の位相を有するパターンの同様の露光量を示す。これら曲線201と曲線202に囲まれた領域が所望寸法に対して±10%以内の誤差に入る領域を示す。

【0011】レベンソン型位相シフトマスクでは、遮光膜の透過率を0とした場合には2つの開口部に相当する曲線は、図3に示すように完全に重なる（曲線301）。図2において、曲線201と曲線202が重ならないのは、遮光膜が透過率を持つためであり、更にはそれにより考慮される位相によるためである。

【0012】ここで、レジストの感度変動、露光装置の照度斑等を考慮し、その変動値を10%（露光量変動換算値）とする。先の線幅変動量がこの露光量変動換算値が生じた場合においても満たされる領域は、図2では黒枠203で表され、図3では黒枠302で表される。図2のように遮光膜の位相が90度である場合、遮光膜の強度透過率が0%である場合と比べ30%の焦点深度低下が生じた。

【0013】また、従来より用いられている遮光膜材料（CrO<sub>x</sub> / Cr）の各波長での屈折率、消衰係数、膜厚と、それにより生じる透過率、位相の関係、さらにその膜をレベンソン型位相シフトマスクに適用した場合の焦点深度劣化度を、下記の（表1）に示す。

【0014】

【表1】

波長	Cr膜			CrO <sub>x</sub> 膜			透過率 (%)	位相 (度)	焦点裕 度劣化
	屈折率	消衰 係数	膜厚 (nm)	屈折率	消衰 係数	膜厚 (nm)			
248nm	1.62	1.75	700	2.04	0.94	300	0.051	98.69	23%
365nm	1.85	2.38	700	2.34	0.81	300	0.151	86.00	43%
193nm	1.85	2.75	700	2.73	0.71	300	0.242	79.82	52%

【0015】この（表1）に示されるように、いずれの

波長においても位相差については調整されておらず90

度に近い値を持つことが分る。そして、これら波長において各々の遮光膜をレベンソン型位相シフトマスクに用いた場合、非常に大きい焦点深度劣化が生じていた。

#### 【0016】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来のレベンソン型位相シフトマスクにおいては、遮光膜の透過率を0として扱っているが、実際には0.1%程度の透過率( $OD=3$ )を有しており、このためにレベンソン型位相シフト法の持つ本来の性能を発揮させることができない問題があった。特に、遮光膜を通過する光とそれと同じ厚さの隣接する媒体を通過する光の位相差が90度程度の場合、焦点深度の大幅な低下が認められた。

【0017】本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、遮光膜を通過する光に起因する焦点深度の低下等を抑制することができ、レベンソン型位相シフト法等の持つ本来の性能を発揮させることを可能にした露光用マスクを提供することにある。

【0018】また、本発明の他の目的は、上記露光用マスクを製造するのに適したマスク形成用基板、更には上記露光用マスクを用いて良好なパターン形成を行うことのできるパターン形成方法を提供することにある。

#### 【0019】

##### 【課題を解決するための手段】

(構成) 上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。

(1) 透光性基板と、この透光性基板上に形成され一部に開口パターンを有する遮光膜と、この遮光膜の開口パターンを透過する光に対して隣接する開口パターンで概略 $(2m-1)\pi$ ( $m$ は正の整数)の位相差を与えるための位相シフト手段とを備えた露光用マスクにおいて、前記遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に概略 $n\pi$ ( $n$ は整数)の位相差を有するように形成されてなることを特徴とする。

【0020】(2) (1)において、遮光膜の光透過率は0.1%以下であり、遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $n\pi \pm 40$ 度( $n$ は整数)の範囲の位相差を有するように形成されてなること。

【0021】(3) (1)において、遮光膜の光透過率は0.08%以下であり、遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $n\pi \pm 20$ 度( $n$ は整数)の範囲の位相差を有するように形成されてなること。

【0022】(4) 透光性基板と、この透光性基板上に形成され一部に開口パターンを有する遮光膜と、この遮光膜の開口パターンを透過する光に対して隣接する開口パターンで概略 $(2m-1)\pi$ ( $m$ は正の整数)の位相差を与えるための位相シフト手段とを備えた露光用マス

クにおいて、前記遮光膜は、該遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $(2n-1)\pi/2$ ( $n$ は整数)近傍の位相差を有するように形成され、前記遮光膜の光透過率を0.07%以下に設定してなることを特徴とする。

【0023】(5) (1)～(4)において、位相シフト手段は、透光性基板の隣接する開口パターンにそれぞれ露出する一方を掘り込んで作成されたものであること。

(6) (5)において、基板掘り込み量は、 $(2m-1)\pi$ ( $m$ は正の整数)の位相差に相当するものであること。

【0024】(7) (1)～(4)において、位相シフト手段は、透光性基板の隣接する開口パターンにそれぞれ露出する両方を掘り込んで作成されたものであること。

(8) (7)において、基板掘り込みの深い方と浅い方との掘込み量の差は、 $(2m-1)\pi$ ( $m$ は正の整数)の位相差に相当するものであり、基板掘込みの深い方の掘込み量は、基板掘り込みの深い方と浅い方との掘込み量の差に略等しいこと。

【0025】(9) (1)～(4)において、遮光膜は单層膜又は多層膜であること。

(10) (9)において、遮光膜を構成する物質は、複素屈折率を組成比 $x$ 及び $y$ で調整され、更に膜厚が調整された金属、半導体元素の酸化物及び窒素化物、即ち $CrO_x$ ,  $CrNx$ ,  $CrOxNy$ ,  $SiO_x$ ,  $SiNx$ ,  $SiOxNy$ ,  $MoSiNx$ ,  $MoSiOxNy$ ,  $WSiOx$ ,  $WSiOxNy$ ,  $CrFx$ ,  $AlOx$ ,  $AlNx$ ,  $AlOxNy$ ,  $TiOx$ ,  $TiNy$ ,  $TiOxNy$ 、又はアモルファスCとその水素化物を組成に含むものであること。

【0026】(11) 透光性基板上に遮光膜を形成したマスク形成用基板であって、前記遮光膜が該遮光膜と同じ厚さの光伝導媒体を透過する光に対して相対的に概略 $n\pi$ ( $n$ は整数)の位相差を有するように構成されたことを特徴とする。

【0027】(12) (11)において、遮光膜は单層膜又は多層膜であること。

(13) (12)において、遮光膜を構成する物質は、複素屈折率を組成比 $x$ 及び $y$ で調整され、更に膜厚が調整された金属、半導体元素の酸化物及び窒素化物、即ち $CrO_x$ ,  $CrNx$ ,  $CrOxNy$ ,  $SiO_x$ ,  $SiNx$ ,  $SiOxNy$ ,  $MoSiNx$ ,  $MoSiOxNy$ ,  $WSiOx$ ,  $WSiOxNy$ ,  $CrFx$ ,  $AlOx$ ,  $AlNx$ ,  $AlOxNy$ ,  $TiOx$ ,  $TiNy$ ,  $TiOxNy$ 、又はアモルファスCとその水素化物を組成に含むものであること。

【0028】(14) 被加工基板上に形成された感光性被膜に所望パターンを形成するためのパターン形成方法に

おいて、(1)～(10)のいずれかに記載の露光用マスクを用い、該露光用マスクの遮光膜を透過する光が同厚の屈折率1の媒体を透過する光に対してほぼ $n\pi$  ( $n$ は整数)の位相差を生じせしめる波長を有する露光光源により、該露光用マスクのパターンを前記感光性被膜上に結像露光する工程と、前記感光性被膜を現像処理する工程とを含むことを特徴とする。

【0029】(作用)本発明では、本来0ではない遮光膜の透過率及び位相差を規定することで、レベンソン型位相シフトマスク等の有する露光特性を劣化することなく、その性能を十分発揮できるようにした。

【0030】本発明者らは、遮光膜の透過率が0でないことに着目し、遮光膜の透過率と位相差により焦点深度がどのように変化するかを検討した。その結果、遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して $(n+1/2)\pi$  ( $n$ は整数)の位相差を有する場合に最も焦点深度の低下が大きくなり、 $n\pi$  ( $n$ は整数)の位相差を有する場合に最も焦点深度の低下が小さくなるのが判明した。従って、前記(1)のように設定することにより、遮光膜を通過する露光光による悪影響を低減することができ、レベンソン型位相シフト法等の持つ本来の性能を発揮させることができた。

【0031】また、前記(2)のように、遮光膜の光透過率を0.1%以下、位相差を $n\pi \pm 40$ 度の範囲に設定することによって、後述するように十分大きな焦点深度を得ることができた。同様に、前記(3)のように、遮光膜の光透過率を0.08%以下、位相差を $n\pi \pm 20$ 度の範囲に設定することによっても、後述するように十分大きな焦点深度を得ることができた。

【0032】また、遮光膜の光透過率を0.007%以下と十分に小さくできれば、遮光膜に関する位相差に拘らず十分大きな焦点深度を得ることができた。この場合、従来のように、遮光膜を通過する光が該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体を通過する光に対して相対的に $(n+1/2)\pi$ 近傍の位相差を有するように形成されていたとしても、焦点深度の低下を招くことがない。つまり、遮光膜に関する位相差を考慮せずに、光透過率のみを0.007%以下となるように設定すれば良く、遮光膜材料の選択の自由度が増す。

【0033】このように本発明によれば、遮光膜の透過率及び位相差を最適に設定することによって、遮光膜を通過する光に起因する焦点深度の低下等を抑制することができ、レベンソン型位相シフト法等の持つ本来の性能を発揮させることができた。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明の詳細を図示の実施形態によって説明する。

(第1の実施形態) 本実施形態は、KRF露光用マスクに関し、対象パターン寸法が被加工基板上0.15μm

のパターンについて大きい焦点深度を得られる遮光膜の光学定数決定に関する。

【0035】照明条件はNA=0.52, σ=0.3とした。この条件は、0.15μmレベンソンパターンで最大の焦点深度を得られたものとして設定された。石英からなる透光性基板上に、露光波長において遮光性を有し、露光波長248nmにおいて透過率と光路長が異なるように、組成及び膜厚が調整されたクロム膜と酸化クロム膜を積層して遮光膜を形成した。この基板に感光性樹脂を塗布しパターニングし、更に硝酸セリウム第2アンモニウム溶液を用い露出した遮光膜をエッティング除去した。

【0036】次いで、感光性樹脂膜を除去した後、再び感光性樹脂膜を塗布し、石英開口部を交互に感光性樹脂膜が被覆するようパターニングを行った。そして、露出した石英基板開口部に対し、CF4と酸素の混合ガスによりエッティングを行い、位相シフト領域を作成した。このエッティング量は180度の位相差に相当するものである。その後、エッティングマスクに用いた感光性樹脂膜を除去した。

【0037】このマスクでは基板堀り込み部で光強度差が生じたため、光強度差が補正されるよう堀り込み部と、それに隣接する開口部を一定量エッティングした。これは、感光性樹脂膜を除去した後、露出した石英基板開口部をCF4と酸素の混合ガスによりエッティングすることにより達成された。このときのエッティング量も180度の位相差に相当するものであり、基板堀り込みの浅い部分の堀込み量(バイアス量)が基板掘り込みの深い部分と浅い部分との堀込み量の差とほぼ等しくなるように設定されている。

【0038】本手法で作成した異なる透過率と位相差の組み合わせを有するマスクを用いた検討により得られた結果を、図4に示す。図4は、寸法裕度±10%を許容として求めた(位相、透過率)に対する焦点深度を示す。焦点深度は遮光膜の位相差を顕著に反映し、同一の透過率で比較した場合、 $(n+1/2)\pi$ の位相( $n$ :整数)で焦点深度が最も小さく、また $n\pi$ の時に最大になることが明らかになった。ここで、遮光膜の位相差とは、遮光膜を通過する光と該遮光膜と同じ厚さの光伝達媒体(例えば空気)を通過する光との位相差を意味している。

【0039】また、図4から分るように、1.8以上の焦点深度を得るためにには、遮光膜の透過率0.1%以下で、遮光膜の位相差が40度以下又は140度以上にすればよい。なお、図中横軸は0度から180度の範囲で記載したが180度以上360度の範囲においては位相角Pに対して360-Pの位置を参照すればよい。従って、遮光膜の位相は、 $n\pi - 40^\circ \sim n\pi + 40^\circ$  ( $n$ は整数)に設定すれば良い。

【0040】図5に、寸法裕度±7.5%を許容とした

場合の焦点深度を示す。この場合も寸法精度±10%の場合と同様に同一の透過率で比較した場合( $n+1/2$ )πの位相( $n$ :整数)で焦点深度が最も小さく、また $n\pi$ の時に最大になることが明らかになった。さらに図5から、1.8以上の焦点深度を得るためにには、透過率0.08%以下で、遮光膜の位相差が20度以下又は160度以上、即ち $n\pi-20^\circ \sim n\pi+20^\circ$ ( $n$ は整数)に設定すれば良いのが分る。

【0041】また、遮光膜の透過率が0.007%以下であると、遮光膜の位相差が90度であっても1.8以上の焦点深度を得ることができた。これは、遮光膜の透過率を0.007%以下に設定できれば、遮光膜の位相差を考慮する必要がなくなることを意味し、遮光膜材料の選択の自由度が増すことになる。

【0042】なお、図4及び図5から分るように、許容寸法誤差が小さくなるに従い $n\pi$ に対する許容位相誤差は小さくなる。また、遮光膜の位相の最適値は露光波長のNA、コヒーレントファクター、倍率及びマスクパターン寸法、レジスト等には依存しなかった。

【0043】このように本実施形態によれば、遮光膜の位相を $n\pi$ 近傍に設定、又は遮光膜の透過率を0.007%以下に設定することにより、遮光膜を通過する光に起因する焦点深度の低下等を抑制することができ、レベンソン型位相シフト法の持つ本来の性能を発揮させることができる。そして、このような露光用マスクを用いてパターン形成を行うことにより、パターン寸法精度の向上及び製造歩留まりの向上をはかることが可能となる。

【0044】(第2の実施形態)本実施形態は、KrFエキシマレーザを光源とする露光に用いる露光用マスクの製造方法に関する。図6は、本実施形態に係わる露光用マスクの製造方法を示す工程断面図である。

【0045】まず、図6(a)に示すように、石英基板からなる透光性基板601上に、CrをターゲットとしArと酸素の希薄混合ガスによりDCバイアスをかけたスパッタリングを行い、遮光膜としてのCrO<sub>x</sub>膜602を堆積させた。このCrO<sub>x</sub>膜602の光学定数は屈折率n=2.04、消衰係数k=1.15で、堆積膜厚を129nmとした。このマスク形成用基板に対して、第1の感光性樹脂膜604を形成した。

【0046】次いで、図6(b)に示すように、被加工基板上0.15μmパターンを作成するためのマスクパターンを形成するため、レーザによる描画を行った後に現像を施し、開口パターン605を作成した。そして、開口パターン605より露出したCrO<sub>x</sub>膜602を、硝酸セリウム第2アンモニウム溶液でエッチングを行い除去した。

【0047】次いで、図6(c)に示すように、エッチングマスク材として用いた感光性樹脂膜604を除去したのち、透光性基板601に位相シフト領域を設けるための第2の感光性樹脂膜606を塗布した。

【0048】次いで、図6(d)に示すように、感光性樹脂膜606の一部607を除去し、遮光膜602の開口パターンを一つおきに露出させた。そして、露出した石英基板601をCrO<sub>x</sub>によりエッチングした。

【0049】次いで、図6(e)に示すように、感光性樹脂膜606を除去した後、露出した透光性基板全面のエッチングを行った。このとき、深い掘り込み部607と浅い掘り込み部608の深さは、それぞれ474nm, 234nmであった。また、深い掘り込み部607に隣接するCrO<sub>x</sub>膜の厚さは122nmで、浅い掘り込み部608に隣接するCrO<sub>x</sub>膜の厚さは126nmであった。CrO<sub>x</sub>膜厚の変化は、石英基板エッチング時に減少したことによる。CrO<sub>x</sub>膜の122nm及び126nmはそれぞれ177度及び183度であった。このときの遮光膜の透過率は約0.06~0.08%であった。

【0050】次に、このマスクを用いた転写結果について示す。被加工基板上にKrF用ネガ型レジストを膜厚0.3μmで形成した。この被加工基板に対し、メモリゲートパターンに対応する露光用マスクとして図6(e)の構造を持つ露光用マスクを用い、NA=0.55、コヒーレントファクタ=0.4でパターン露光を行った。ネガ型レジストの非露光部を現像により除去した後、残りのレジストパターンをマスクに下地加工した。このとき得られたゲートパターンは、寸法制御性±7.5%で焦点裕度1.2μmを確保できた。

【0051】これに対して従来の手法では、遮光膜を透過する光の位相が99度であったため、焦点裕度1.2μmを得ようとすると寸法制御性が±12%と悪く、また寸法制御性±7.5%を確保しようとすると焦点裕度が0.6μmしか得られなかった。つまり、本実施形態で作成した露光用マスクを用いてデバイス加工を行うことによって、優れた寸法精度を幅広いデフォーカス範囲で確保できることから、応答時間、電圧値、電流値等に對して高信頼性のデバイスを作成することができた。

【0052】本実施形態のように、エッチング工程時に生じる遮光膜の膜厚減少を考慮し、成膜時の膜厚を規定することにより、露光用マスク完成後に所望の位相差にすることが好ましい。また、本実施形態で用いたCrO<sub>x</sub>膜の位相差が180度となるのは膜厚124nmの場合であるが、本実施形態のように深い掘り込み部でこの膜厚より薄く、浅い掘り込み部で厚くすることで、位相差180度に対する誤差を小さくすることができる。

【0053】本実施形態では遮光膜材料にCrO<sub>x</sub>を用いたが、これに限らず、露光波長において同厚の隣接する開口部を透過する光に対して $n\pi$ ( $n$ は整数)の光路長差を有するように、複素屈折率を制御するための組成比及び膜厚を調整することが可能なものであればよい。具体的には、金属、半導体元素の酸化物及び窒素化物、即ちCrNx, CrOxNy, SiOx, SiNx, S

$i_{\text{Ox}}\text{Ny}$ ,  $\text{MoSiO}_x$ ,  $\text{MoSiN}_x$ ,  $\text{MoSiO}_x\text{Ny}$ ,  $\text{WSiO}_x$ ,  $\text{WSiN}_x$ ,  $\text{WSiO}_x\text{Ny}$ ,  $\text{CrFx}$ ,  $\text{AlO}_x$ ,  $\text{AlN}_x$ ,  $\text{AlO}_x\text{Ny}$ ,  $\text{TiO}_x$ ,  $\text{TiN}_y$ ,  $\text{TiO}_x\text{Ny}$  ( $x$ ,  $y$ は任意の実数)、又はアモルファスC及びその水素化物を組成に含む物質などを用いることができる。

【0054】また、遮光膜の膜構造は必ずしも単層である必要はなく、組成又は物質の異なる多層膜で構成されていてもよい。また、透光性基板も本実施形態では石英を用いたがこれに限るものでなく、アルミナ、 $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ などを用いても良い。

【0055】また、本実施形態は石英基板の開口部を交互に深さを変えて堀り込み作成したレベンソン型位相シフトマスクに関するが、これに限るものでなく、開口部を交互に堀り込み、且つ堀り込み部の開口幅を非堀り込み部の開口幅より大きくした露光用マスク、開口部を交互に深さを変えて堀り込み、さらに遮光膜の内側に石英エッティング部の側壁エッジが来るよう構成された露光用マスク、基板の開口部の交互に透明位相シフト膜が積層された露光用マスク、等に用いる遮光膜にも適用可能である。

【0056】また、露光波長も $\text{KrF}$  (248 nm) に限るものでなく、 $\text{ArF}$  (193 nm)、 $\text{F}_2$  (153 nm) をはじめ水銀のI線 (365 nm) 等に用いる露光用マスクについても適用可能である。さらに、X線に対しても適用可能である。また、対象とするパターン線幅もウェハ上0.5  $\mu\text{m}$ に限るものではなく、仕様に応じて適宜変更可能である。

【0057】(第3の実施形態) 本実施形態は、 $\text{KrF}$ エキシマレーザを光源とする露光に用いる露光用マスクの製造方法に関する。なお、工程フローシートは図6に準じる。

【0058】石英基板からなる透光性基板上に、 $\text{Si}$ をターゲットとし $\text{Ar}$ と窒素の希薄混合ガスによりDCバイアスをかけてスパッタリングを行い、遮光膜としての $\text{SiN}_x$ 膜を堆積させた。この $\text{SiN}_x$ 膜の光学定数は屈折率 $n = 2.14$ 、消衰係数 $k = 1.25$ で、堆積膜厚を124 nmとした。

【0059】この基板に対して、感光性樹脂膜を形成し、ウェハ上0.15  $\mu\text{m}$ パターンを作成するためのマスクパターンを形成するため、レーザによる描画を行った後に現像を施し、更に露出した $\text{SiN}_x$ 膜に対し $\text{CF}_4$ と酸素ガスを用いた等方性化学エッティングを行い除去した。

【0060】次いで、上記の感光性樹脂膜を除去した後、再び感光性樹脂膜を形成し、位相シフトパターンを形成するための描画を行った。露出した石英基板を $\text{CF}_4$ ガスにより異方的にエッティングした。続いて、感光性樹脂膜を除去した後、更に露出した透光性基板全面のエッティングを行った。このとき、深い堀り込み部と浅い堀

り込み部の深さはそれぞれ474 nm, 234 nmであった。

【0061】また、深い堀り込み部に隣接する $\text{SiN}_x$ 膜の厚さは112 nmで、浅い堀り込み部に隣接する $\text{SiN}_x$ 膜の厚さは118 nmであった。 $\text{SiN}_x$ 膜厚の変化は、石英基板エッティング時に減少したことによる。 $\text{SiN}_x$ 膜の112 nm及び118 nmはそれぞれ175度及び185度であった。このときの遮光膜の透過率は0.05~0.07%であった。

【0062】次に、このマスクを用いた転写結果について示す。被加工基板上に $\text{KrF}$ 用ネガ型レジストを膜厚0.3  $\mu\text{m}$ で形成した。この被加工基板に対し、メモリゲートパターンに対応する露光用マスクとして前記図6(e)のような構造を持つ露光用マスクを用い、 $\text{NA} = 0.52$ 、コヒーレントファクタ=0.35でパターン露光を行った。ネガ型レジストの非露光部を現像により除去した後、残りのレジストパターンをマスクに下地加工した。このとき得られたゲートパターンは、寸法制御性 $\pm 7.5\%$ で焦点裕度1.5  $\mu\text{m}$ を確保できた。

【0063】これに対して従来の手法では、遮光膜を透過する光の位相が99度であったため、焦点裕度1.5  $\mu\text{m}$ を得ようとすると寸法制御性が $\pm 10\%$ と悪く、また寸法制御性 $\pm 7.5\%$ を確保しようとすると焦点裕度が0.8  $\mu\text{m}$ しか得られなかった。つまり、本実施形態で作成した露光用マスクを用いてデバイス加工を行うことによって、優れた寸法精度を幅広いデフォーカス範囲で確保できることから、応答時間、電圧値、電流値等に對して高信頼性のデバイスを作成することができた。

【0064】本実施形態のように、エッティング工程時に生じる遮光膜の膜厚減少を考慮し、成膜時の膜厚を規定することにより、露光用マスク完成後に所望の位相差にすることが好ましい。また、本実施形態で用いた $\text{SiN}_x$ 膜の位相差が180度となるのは膜厚115 nmの場合であるが、本実施形態のように深い堀り込み部でこの膜厚より薄く、浅い堀り込み部で厚くすることで、位相差180度に対する誤差を小さくすることができる。

【0065】なお、本実施形態では遮光膜材料に $\text{SiN}_x$ を用いたが、これに限らず、第2の実施形態で説明したような各種の材料を用いることができる。また、遮光膜の膜構造、透光性基板の材料、露光用マスクの種類、露光波長等は、第2の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。

【0066】(第4の実施形態) 本実施形態は、 $\text{ArF}$ エキシマレーザを光源とする露光に用いる露光用マスクの製造方法に関する。なお、工程フローシートは図6に準じる。

【0067】石英基板からなる透光性基板上に、 $\text{Cr}$ をターゲットとし $\text{Ar}$ と酸素の希薄混合ガスによりスパッタリングを行い、遮光膜としての $\text{CrO}_x$ 膜を堆積させた。この $\text{CrO}_x$ 膜の光学定数は屈折率 $n = 2.23$ 、

消衰係数  $k = 1.33$  で、堆積膜厚を  $88 \text{ nm}$  とした。

【0068】この基板に対して、感光性樹脂膜を形成し、ウェハ上  $0.1 \mu\text{m}$  パターンを作成するためのマスクパターンを形成するため、レーザによる描画を行った後に現像を施し、更に露出した  $\text{CrO}_x$  膜に対し硝酸セリウム第2アンモニウム溶液でエッティングを行い除去した。

【0069】次いで、上記の感光性樹脂膜を除去した後、再び感光性樹脂膜を形成し、位相シフトパターンを形成するための描画を行った。露出した石英基板を  $\text{CF}_4$  ガスによりエッティングした。続いて、感光性樹脂膜トを除去した後、更に露出した透光性基板全面のエッティングを行った。このとき、深い堀り込み部と浅い堀り込み部の深さはそれぞれ  $361 \text{ nm}$ ,  $178 \text{ nm}$  であった。

【0070】また、深い堀り込み部に隣接する  $\text{CrO}_x$  膜の厚さは  $82 \text{ nm}$  で、浅い堀り込み部に隣接する  $\text{CrO}_x$  膜の厚さは  $85 \text{ nm}$  であった。 $\text{CrO}_x$  膜厚の変化は、石英基板エッティング時に減少したことによる。 $\text{CrO}_x$  膜の  $82 \text{ nm}$  及び  $85 \text{ nm}$  はそれぞれ  $175$  度及び  $183$  度であった。このときの遮光膜の透過率は  $0.055 \sim 0.073\%$  であった。

【0071】次に、このマスクを用いた転写結果について示す。被加工基板上に  $\text{ArF}$  用ネガ型レジストを膜厚  $0.3 \mu\text{m}$  で形成した。この被加工基板に対し、メモリゲートパターンに対応する露光用マスクとして前記図6 (e) のような構造を持つ露光用マスクを用い、 $\text{NA} = 0.61$ 、コヒーレントファクタ  $= 0.35$  でパターン露光を行った。ネガ型レジストの非露光部を現像により除去した後、残りのレジストパターンをマスクに下地加工した。このとき得られたゲートパターンは、寸法制御性  $\pm 7.5\%$  で焦点裕度  $0.85 \mu\text{m}$  を確保できた。

【0072】これに対して従来の手法では、遮光膜を透過する光の位相が  $80$  度であったため、焦点裕度  $0.85 \mu\text{m}$  を得ようとすると寸法制御性が  $\pm 10\%$  と悪く、また寸法制御性  $\pm 7.5\%$  を確保しようとすると焦点裕度が  $0.45 \mu\text{m}$  しか得られなかった。つまり、本実施形態で作成した露光用マスクを用いてデバイス加工を行うことによって、優れた寸法精度を幅広いデフォーカス範囲で確保できることから、応答時間、電圧値、電流値等に対して高信頼性のデバイスを作成することができた。

【0073】本実施形態のように、エッティング工程時に生じる遮光膜の膜厚減少を考慮し、成膜時の膜厚を規定することにより、露光用マスク完成後に所望の位相差にすることが好ましい。また、本実施形態で用いた  $\text{CrO}_x$  膜の位相差が  $180$  度となるのは膜厚  $84.5 \text{ nm}$  の場合であるが、本実施形態のように深い堀り込み部でこの膜厚より薄く、浅い堀り込み部で厚くすることで、位相差  $180$  度に対する誤差を小さくすることができる。

【0074】なお、本実施形態では遮光膜材料に  $\text{CrO}_x$

$x$  を用いたが、これに限らず、第2の実施形態で説明したような各種の材料を用いることができる。また、遮光膜の膜構造、透光性基板の材料、露光用マスクの種類、露光波長等は、第2の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。

【0075】(第5の実施形態) 本実施形態は、 $\text{KrF}$  エキシマレーザを光源とする露光に用いる露光用マスクの製造方法に関する。図7は、本実施形態に係わる露光用マスクの製造方法を示す工程断面図である。

【0076】まず、図7 (a) に示すように、石英基板からなる透光性基板上  $701$  上に、 $\text{MoSi}$  をターゲットとして  $\text{Ar}$  と窒素の希薄混合ガスにより  $\text{CD}$  バイアスをかけてスパッタリングを行い、遮光膜としての  $\text{MoSiO}_x$  膜  $702$  を堆積させた。この  $\text{MoSiO}_x$  膜の光学定数は屈折率  $n = 2.14$ 、消衰係数  $k = 1.25$  で、堆積膜厚を  $124 \text{ nm}$  とした。そして、この遮光膜  $702$  の上にカーボン膜  $703$  を塗布により形成し、さらにシリコン含有の第1の感光性樹脂膜  $704$  を形成した。

【0077】次いで、図7 (b) に示すように、ウェハ上  $0.15 \mu\text{m}$  パターンを作成するためのマスクパターンを形成するため、レーザによる描画を行った後に現像を施し、開口パターン  $705$  を形成した。そして、開口パターン  $705$  より露出したカーボン膜  $703$  を酸素ガスにより異方性エッティングで除去し、更にその下の  $\text{MoSiO}_x$  膜を  $\text{CF}_4$  ガスにより異方性エッティングで除去した。

【0078】次いで、図7 (c) に示すように、エッティングマスクとして用いた感光性樹脂膜  $704$  を除去したのち、透光性基板  $701$  に位相シフト領域を設けるための第2の感光性樹脂膜を  $706$  を形成した。

【0079】次いで、図7 (d) に示すように、位相シフトパターンを形成するための描画を行ったのち現像し、透光性基板の一部  $707$  をその周囲の遮光膜を含めて露出させた。そして、露出した石英基板  $701$  を  $\text{CF}_4$  ガスにより異方的にエッティングした。

【0080】次いで、図7 (e) に示すように、感光性樹脂膜  $706$  を除去した後、露出した透光性基板全面のエッティングを行った。このとき、深い堀り込み部  $707$  と浅い堀り込み部  $708$  の深さはそれぞれ  $474 \text{ nm}$ ,  $234 \text{ nm}$  であった。この後に、酸素ガスにより  $\text{MoSiO}_x$  膜  $702$  上に成膜したカーボン膜  $703$  を除去した。

【0081】本実施形態によれば、石英基板  $701$  のエッティング中に  $\text{MoSiO}_x$  膜  $702$  はカーボン膜  $703$  で保護されるため、 $\text{MoSiO}_x$  膜厚の減少は起こらず、成膜時に所望の厚さに設定しておくことができる。即ち、遮光膜としての  $\text{MoSiO}_x$  膜  $702$  の位相はいずれの部分においても  $180$  度に維持された。

【0082】次に、このマスクを用いた転写結果につい

て示す。被加工基板上にKrF用ネガ型レジストを膜厚0.3μmで形成した。この被加工基板に対し、メモリゲートパターンに対応する露光用マスクとして図7(e)の構造を持つ露光用マスクを用い、NA=0.52、コヒーレントファクタ=0.35でパターン露光を行った。ネガ型レジストの非露光部を現像により除去した後、残りのレジストパターンをマスクに下地加工した。このとき得られたゲートパターンは、寸法制御性±7.5%で焦点裕度1.5μmを確保できた。

【0083】これに対して従来の手法では、遮光膜を透過する光の位相が99度であったため、焦点裕度1.5μmを得ようとすると寸法制御性が±10%と悪く、また寸法制御性±7.5%を確保しようとすると焦点裕度が0.8μmしか得られなかった。つまり、本実施形態で作成した露光用マスクを用いてデバイス加工を行うことによって、優れた寸法精度を幅広いデフォーカス範囲で確保できることから、応答時間、電圧値、電流値等に対して高信頼性のデバイスを作成することができた。

【0084】なお、本実施形態では遮光膜材料にMoSiO<sub>x</sub>を用いたが、これに限らず、第2の実施形態で説明したような各種の材料を用いることができる。また、遮光膜の膜構造、透光性基板の材料、露光用マスクの種類、露光波長等は、第2の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。

【0085】(第6の実施形態) 本実施形態は、ArFエキシマレーザを光源とする露光に用いる露光用マスクの製造方法に関する。なお、工程フローシートは図7に準じる。

【0086】石英基板からなる透光性基板上に、SiをターゲットとしArと窒素と酸素の希薄混合ガスによりスパッタリングを行い、遮光膜としてのSiNxOy膜を堆積させた。このSiNxOy膜の光学定数は屈折率n=2.14、消衰係数k=1.25で、堆積膜厚を124nmとした。そして、この遮光膜の上にカーボン膜を形成した。

【0087】この基板に対して、シリコン含有感光性樹脂膜を形成し、ウェハ上0.1μmパターンを作成するためのマスクパターンを形成するため、レーザによる描画を行った後に現像を施した。露出したカーボン膜を酸素ガスを用いた異方性エッチングで除去し、更にその下のSiNxOy膜をCF<sub>4</sub>を用いた異方性エッチングで除去した。

【0088】次いで、エッチングマスクとして用いた感光性樹脂膜を除去した後、新たに感光性樹脂膜を形成し、位相シフトパターンを形成するための描画を行った。露出した石英基板をCF<sub>4</sub>ガスにより異方的にエッチングした。そして、感光性樹脂膜を除去した後、更に露出した透光性基板全面のエッチングを行った。このとき、深い堀込み部と浅い堀り込み部の深さはそれぞれ474nm, 234nmであった。最後に、酸素ガスを用

いたエッチングを行いカーボン膜を除去した。

【0089】本実施形態によれば、石英基板のエッチング中にSiNxOy膜はカーボン膜で保護されているためのSiNxOy膜厚の減少は起こらず、成膜時に所望の厚さに設定しておくことができる。即ち、SiNxOy膜の位相はいずれの部分においても180度に維持された。

【0090】次に、このマスクを用いた転写結果について示す。被加工基板上にArF用ネガ型レジストを膜厚0.3μmで形成した。この被加工基板に対し、メモリゲートパターンに対応する露光用マスクとして図7(e)の構造を持つ露光用マスクを用い、NA=0.61、コヒーレントファクタ=0.35でパターン露光を行った。ネガ型レジストの非露光部を現像により除去した後、残りのレジストパターンをマスクに下地加工した。このとき得られたゲートパターンは、寸法制御性±7.5%で焦点裕度0.85μmを確保できた。

【0091】これに対して従来の手法では、遮光膜を透過する光の位相が80度であったため、焦点裕度0.85μmを得ようとすると寸法制御性が±10%と悪く、また寸法制御性±7.5%を確保しようとすると焦点裕度が0.45μmしか得られなかった。つまり、本実施形態で作成した露光用マスクを用いてデバイス加工を行うことによって、優れた寸法精度を幅広いデフォーカス範囲で確保できることから、応答時間、電圧値、電流値等に対して高信頼性のデバイスを作成することができた。

【0092】なお、本実施形態では遮光膜材料にSiNxOyを用いたが、これに限らず、第2の実施形態で説明したような各種の材料を用いることができる。また、遮光膜の膜構造、透光性基板の材料、露光用マスクの種類、露光波長等は、第2の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。

【0093】(第7の実施形態) 本実施形態は、ArFエキシマレーザを光源とする露光に用いる露光用マスクの製造方法に関する。なお、工程フローシートは図7に準じる。

【0094】石英基板からなる透光性基板上に、CrをターゲットとしArの希薄ガスによりスパッタリングを行い、遮光膜としてのCr膜として堆積させた。このCr膜の光学定数は屈折率n=1.85、消衰係数k=2.75で、堆積膜厚を20nmとした。続いて、このCr膜上に、CrをターゲットとしArと酸素の稀薄ガスによりスパッタリングを行い、遮光膜としてのCrO<sub>x</sub>膜を堆積させた。このCrO<sub>x</sub>膜の光学定数は屈折率n=2.73、消衰係数k=0.71で、堆積膜厚を107nmとした。このときの2層膜で得られる強度透過率と位相はそれぞれ0.019%と360度であった。そして、これらの膜上にカーボン膜を形成した。

【0095】この基板に対して、シリコン含有感光性樹

脂膜を形成し、ウェハ上  $0.1 \mu\text{m}$  パターンを作成するためのマスクパターンを形成するため、レーザによる描画を行った後に現像を施した。露出したカーボン膜を酸素ガスを用いた異方性エッティングで除去し、更にその下の  $\text{CrO}_x / \text{Cr}$  膜を塩素と酸素を用いた異方性エッティングで除去した。

【0096】次いで、エッティングマスクとして用いた感光性樹脂膜を除去した後、新たに感光性樹脂膜を形成し、位相シフトパターンを形成するための描画を行った。露出した石英基板を  $\text{CF}_4$  ガスにより異方的にエッティングした。そして、感光性樹脂膜を除去した後、更に露出した透光性基板全面のエッティングを行った。このとき、深い堀込み部と浅い堀り込み部の深さはそれぞれ  $474 \text{ nm}$ ,  $234 \text{ nm}$  であった。最後に、酸素ガスを用いたエッティングを行いカーボン膜を除去した。

【0097】本実施形態によれば、石英基板のエッティング中に  $\text{CrO}_x / \text{Cr}$  膜はカーボン膜で保護されているため  $\text{CrO}_x / \text{Cr}$  膜厚の減少は起こらず、成膜時に所望の厚さに設定しておくことができる。即ち、 $\text{CrO}_x / \text{Cr}$  膜の位相はいずれの部分においても  $180^\circ$  度に維持された。

【0098】次に、このマスクを用いた転写結果について示す。被加工基板上に  $\text{ArF}$  用ネガ型レジストを膜厚  $0.3 \mu\text{m}$  で形成した。この被加工基板に対し、メモリゲートパターンに対応する露光用マスクとして図7(e) の構造を持つ露光用マスクを用い、 $\text{NA} = 0.6$  1、コヒーレントファクタ  $= 0.35$  でパターン露光を行った。ネガ型レジストの非露光部を現像により除去した後、残りのレジストパターンをマスクに下地加工した。このとき得られたゲートパターンは、寸法制御性  $\pm 7.5\%$  で焦点裕度  $0.85 \mu\text{m}$  を確保できた。

【0099】これに対して従来の手法では、遮光膜を透過する光の位相が  $80^\circ$  度であったため、焦点裕度  $0.85 \mu\text{m}$  を得ようとすると寸法制御性が  $\pm 10\%$  と悪く、また寸法制御性  $\pm 7.5\%$  を確保しようとすると焦点裕度が  $0.45 \mu\text{m}$  しか得られなかった。つまり、本実施形態で作成した露光用マスクを用いてデバイス加工を行うことによって、優れた寸法精度を幅広いデフォーカス範囲で確保できることから、応答時間、電圧値、電流値等に対して高信頼性のデバイスを作成することができた。

【0100】なお、本実施形態では遮光膜材料に  $\text{CrO}_x / \text{Cr}$  の2層構造を用いたが、これに限られるものではない。例えば、本実施形態と同じ光学定数を有する  $\text{Cr}$  及び  $\text{CrO}_x$  膜を用い、 $\text{CrO}_x (50 \text{ nm}) / \text{Cr} (20 \text{ nm}) / \text{CrO}_x (57 \text{ nm})$  のように3層構造で作成しても構わない。また、多層構造に用いる物質もこれらに限るものではなく、第2の実施形態で説明したような各種の材料を用いることができる。さらに、遮光膜の膜構造、透光性基板の材料、露光用マスクの種類、

露光波長等は、第2の実施形態で説明したような各種の変形が可能である。

【0101】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。実施形態では、露光用マスク及びこれを用いたパターン形成方法について説明したが、本発明は露光用マスクを形成するためのマスク形成用基板に適用することもできる。この場合のマスク形成用基板としては、透光性基板上に遮光膜が形成され、遮光膜が該遮光膜と同じ厚さの光伝導媒体を透過する光に対して相対的に概略  $n\pi$  ( $n$  は整数) の位相差を有するようにすればよい。

【0102】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、遮光膜の透過率と、遮光膜を通過する光と該遮光膜と同じ厚さの光伝導媒体を通過する光との位相差を最適に設定することにより、遮光膜を通過する光に起因する焦点深度の低下等を抑制することができ、レベンソン型位相シフト法等の持つ本来の性能を発揮させることができるとなる。

【0103】また、本発明の露光用マスクを用いたパターン形成を行うことにより、パターン寸法精度及び製造歩留まりの向上をはかることが可能となる。さらに、本発明のマスク形成用基板を用いることにより、上記のように優れた性能を持つ露光用マスクを簡易に作成することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】レベンソン型位相シフトマスクの基本構造を示す断面図。

【図2】遮光膜の位相が同厚の大気を透過する光に対して  $90^\circ$  度であるときの焦点裕度を示す図。

【図3】遮光膜の強度透過率が  $0\%$  であるときの焦点裕度を示す図。

【図4】遮光膜の強度透過率と位相差に対する焦点深度の関係を示す図(寸法裕度  $\pm 10\%$ )。

【図5】遮光膜の強度透過率と位相差に対する焦点深度の関係を示す図(寸法裕度  $\pm 7.5\%$ )。

【図6】第2の実施形態に用いた露光マスクの製造工程を示す断面図。

【図7】第5の実施形態に用いた露光マスクの製造工程を示す断面図。

【符号の説明】

101…透光性基板

102…遮光膜

103…位相シフタ

104…開口パターン(非位相シフト部)

105…開口パターン(位相シフト部)

106…第1の掘り込み部(非位相シフト部)

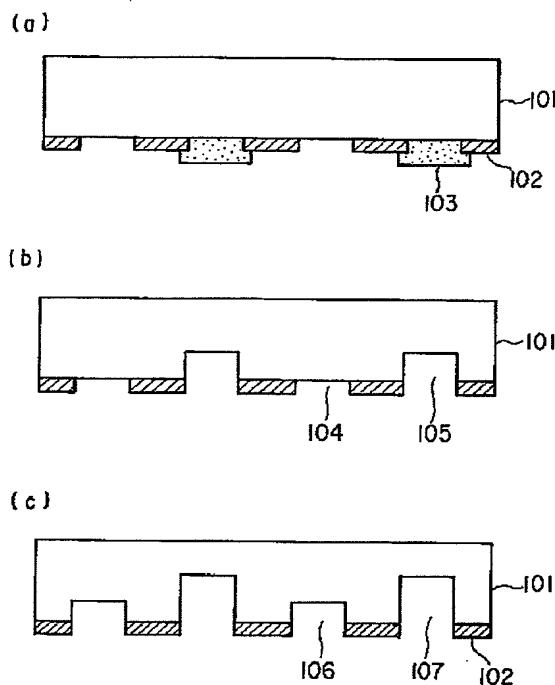
107…第2の掘り込み部(位相シフト部)

201…位相  $0^\circ$  に相当するドーズフォーカス曲線

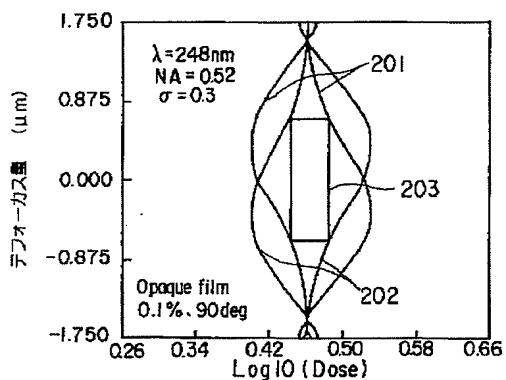
202…位相180度に相当するドーズフォーカス曲線  
 203…遮光膜の透過率が0.1%の場合の寸法精度±10%、ドーズ裕度10%時に得られる焦点裕度とドーズ領域  
 301…遮光膜の透過率を0とした場合のドーズフォーカス曲線  
 302…遮光膜の透過率が0の場合の寸法精度±10%、ドーズ裕度10%時に得られる焦点裕度とドーズ領域  
 601, 701…石英基板（透光性基板）

602…CrO<sub>x</sub>（遮光膜）  
 604, 606, 704, 706…感光性樹脂膜  
 605, 705…開口パターン  
 607, 707…レベンソン位相シフト領域（深い堀り込み部）  
 608, 708…レベンソン位相シフト領域（浅い堀り込み部）  
 702…MoSiO<sub>x</sub>（遮光性膜）  
 703…カーボン膜

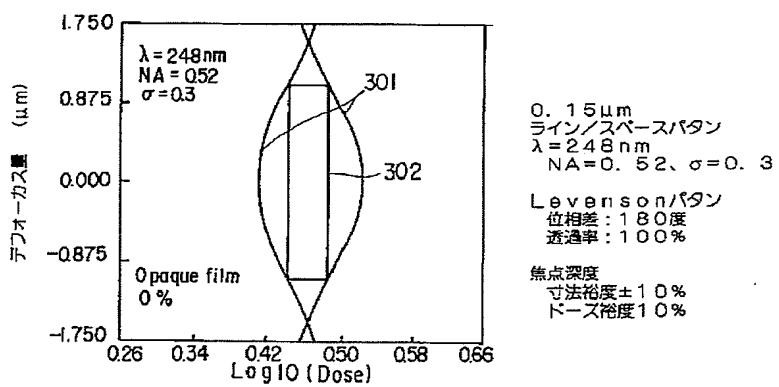
【図1】



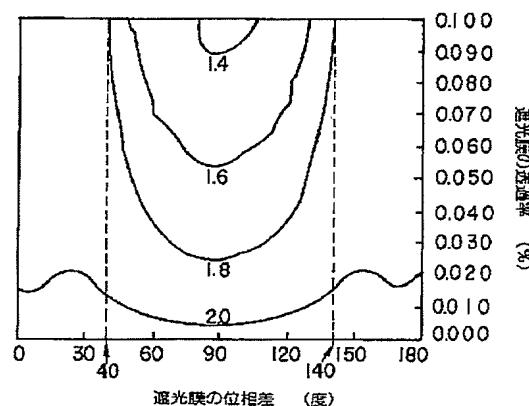
【図2】



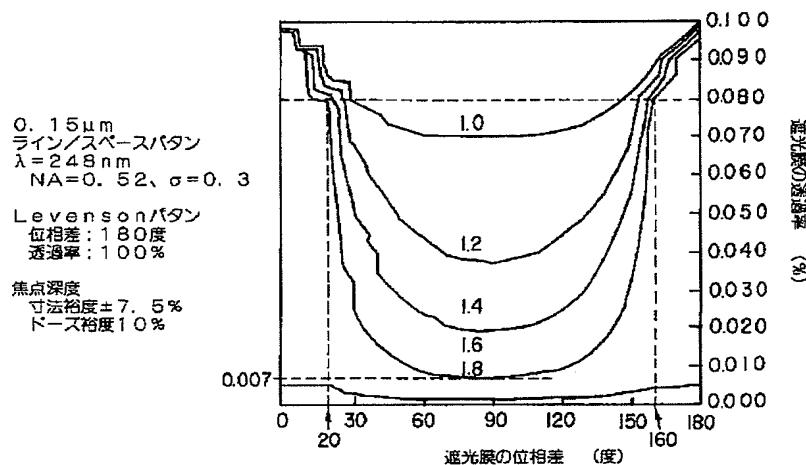
【図3】



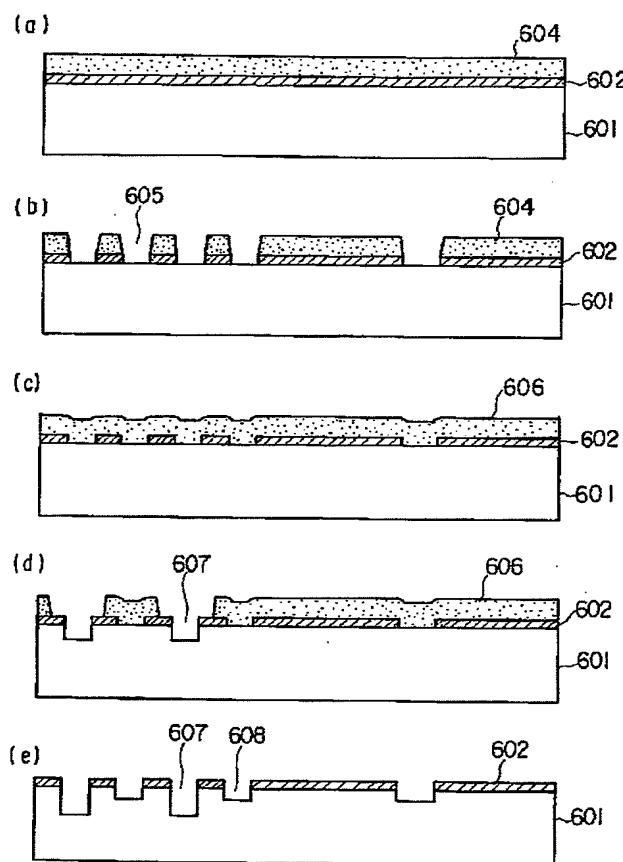
【図4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

